

УДК 621.27.

А.Х. Выхрест, научн. сотр.

Первомайский государственный научно-инженерный центр по проблемам ресурсо- и энергосбережения

Математическая модель кожухотрубного конденсатора динамических систем трансформации энергии

Приведенные данные исследований позволяют разрабатывать аппаратное оформление кожухотрубных конденсаторов для динамических систем трансформации энергии с внутренним обогревом.

модель, математика, динаміка, система, енергія, параметр, тепло, потік, дослід, апарат, течія

Использование математических моделей динамических систем трансформации энергии (далее системы) при имитационном моделировании выполняется для установления адекватности характеристик реальной системы. Они должны содержать уравнения, описывающие элементы системы, процессы и внутренние связи в ней. Математическая модель базируется на экспериментальных характеристиках процессов трансформации энергии и элементов системы.

Построение математической модели, обеспечивающей проведение численных экспериментов, имеет много преимуществ перед физическим экспериментом над объектом исследования. Хотя численный эксперимент и сокращает объем исследований, но он не исключает физического эксперимента [1]. В соответствии с блочно-модульным построением математической модели система программ для ПЭВМ имеет следующую структуру: *модулем* является программа с входными и выходными параметрами объекта исследований, реализующая алгоритм расчета свойств, и параметры фрагмента, элемента и собственно объекта; *блок-модуль* – программа, реализующая вычислительный алгоритм состояния и характеристик фрагмента, элемента и собственно объекта [2]. Система прикладных программ оформляется в виде подпрограмм и функций в виде массивов исходных данных библиотеки ПЭВМ. Она представляет функционально-взаимоувязанную совокупность блоков и модулей, реализующего комплекс решаемых задач.

Замена аппроксимирующих зависимостей математическими моделями элементов позволяет использовать ее блочно-модульную структуру расчета свойств хладонов и теплоносителей, массивы информации о технических характеристиках для основного и вспомогательного оборудования, показателями унификации, надежности, значения экономических констант.

Задача о охлаждении однородных тел классической формы решена с помощью уравнения Фурье [3]. Предложены также аналитические формулы для выполнения в инженерных расчетах, которые применяются в позиномальном программировании для определения основных параметров процесса отвода тепла от объектов [4-6].

При создании математической модели динамических систем трансформации энергии необходимо сгруппировать уравнения в блоках данных, описывающих термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ; процессов сжатия в компрессорах; характеристики теплообменных аппаратов и процессов, протекающих в них. Составленные дифференциальные уравнения теплопроводности в виде

зависимости изменения температуры от критериев Фурье и Био обеспечило построение номограмм, охватывает малый интервал условий, а параметр Fo представлен в виде криволинейной зависимости, что создает неудобства при пользовании ними. Номограммы П.Шнайдера и А.В.Лыкова даны для небольших интервалов Bi [3]. Номограммы А.Г.Фикина [7] более удобны, но они не отображают теплофизические условия охлаждения объекта в бифазных смесях.

Задачами исследований является создание энергетически экономичных и дешевых теплообменных аппаратов - конденсаторов для динамических систем трансформации энергии, что требует разработки математических моделей, учитывающих гидравлические условия теплообмена.

В составе математических моделей, разработанных для позиномального программирования использованы следующие уравнения, входящие в группу исходных уравнений:

- уравнение Боголюбова - Майера в вириальной форме, справедливой для жидкости и пара:

$$Z = p(R T_K \rho_a \tau_c) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=0}^s a_{ij} \rho_i^a \tau_{-i}^{-j}, \quad (1)$$

где $\tau = T/T_{KP}$; a_{ij} , ρ_a , s_q - вириальные коэффициенты в размерностях полинома.

- уравнение изохорной теплоемкости R717 в идеально-газовом состоянии;
- уравнение кривой упругости пара R717 на линии насыщения;
- обобщенное для R717 уравнение плотности кипящей жидкости [8].

Описание процессов теплообмена хладагента R717 выполняется с помощью группы исходных уравнений, учитывающих термодинамические свойства при заданных p в ситуационном времени процесса трансформации τ_c . Выбор рабочего тела требует описания термодинамических свойств хладагента R717 в независимых переменных $(\rho_a; \tau_c)$.

Условия теплообмена учитываются аналитическим выражением вириального коэффициента - **удельного динамического сопротивления потоков** хладагента R717 и агента R717:

$$\Delta p = k_F F_{TO} (w \rho)_a^m, \quad (2)$$

где k_F - коэффициент эффективности **поверхности теплообмена**, определяемый выражением:

$$k_F = \frac{1}{\alpha_T E_F^1 / E_F^2}, \quad (3)$$

где α_T - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К);

E_F^1 / E_F^2 - соотношение внутренней и внешней поверхностей теплообмена;

$(w \rho)_a^m$ - массовая скорость R717, кг/(с м²);

m - показатель степени, определяется экспериментально для потоков хладагента R717 и теплоносителя воды, при соотношении $E_F^1 / E_F^2 = 0,7$, $n = 1,32$.

Гидравлические условия определены по результатам экспериментальных точек по методу наименьших квадратов и представлены в виде зависимости:

$$Nu = 0,084 Re^{0,75}. \quad (4)$$

Уравнение справедливо при $Re = 2100 - 4500$, для области вне этих условий при $Re < 2100$ $Nu = 0,054 Re^{0,84}$. Расчет по зависимости (4) показал, что погрешность

составляет не более 7%.

Используя интегрально-дифференциальные соотношения термодинамики и определенные параметры термодинамических свойств независимых переменных $(p; \tau_c)$ R717, которые обеспечивают неизменность форм уравнений в широких диапазонах температур R717, предложим методику составления модели кожухотрубного конденсатора динамических систем трансформации энергии. Она состоит из этапов:

1) Определении соотношений параметров давления и температуры конденсации $(p_K; t_K)$ R717.

2) Установление зависимостей свойств рабочего вещества R717 в координатах: давление-энтропия $(p_K; s_K)$, энтальпия-энтропия $(i_K; s_K)$; давление-энтальпия $(p_K; i_K)$; фазовых преобразований на линии пар-жидкость $(\xi; t_K)$ при $p_K = const$.

3) Формирование комплексов для машинной обработки программы SEDKO уравнения (1) по методу [9] с учетом данных эксперимента согласно [10].

Выполнение этих условий позволит обеспечить достаточную точность для имитационного моделирования состояния системы конденсации [11].

С учетом (2), (3), (4) и [12] математическая модель кожухотрубного конденсатора динамических систем трансформации энергии имеет вид:

$$Q_K = \Phi_{\text{э.э}}(A_{\text{э.к}}) Z(r^*; s^*; \tau_c), \quad (5)$$

где $\Phi_{\text{э.э}} = P_c / A_{\text{э.к}}$ – функция тепловой эффективности системы [13];

$A_{\text{э.к}} = \frac{1}{R}$ – комплекс термодинамических преобразований агента R717 и

теплоносителя;

$R = \frac{W_{\min}^a}{W_{\min}^6}$ – коэффициент трансформации при W_{\min}^a , W_{\min}^6 – значения меньших водяных эквивалентов сред [14].

Значение W_{\min} представляет теоретически предельное количество теплоты, которая могла бы быть передана в конденсаторе от R717 к теплоносителю: со стороны R717 (индекс - а) [12]:

$$W_{\min}^a = G_a c_a \eta_{\text{э.к}}^a, \quad (6)$$

со стороны теплоносителя (воды) (индекс - в) [12]:

$$W_{\min}^6 = G_6 c_6 \eta_{\text{э.к}}^6, \quad (7)$$

$\eta_{\text{э.к}}^a$, $\eta_{\text{э.к}}^6$ – эксергетические потери агента и теплоносителя.

r^* – комплекс фазовых преобразований $r^* = r_a / r_6$;

s^* – комплекс эксергетических потерь $s^* = s_a / s_6$;

P_c – комплекс характеристик многоэлементной системы конденсации агента R717:

$$P_c = \Phi^c(H_r^c; C_s^c), \quad (8)$$

при характеристиках системы: H_r^c – аппаратное оформление (*hardware registration*), C_s^c – технологическая схема тока (*technological scheme of the current*).

Анализ модели многоэлементной системы конденсации агента R717 (8) инвариантной относительно схемы тока теплоносителя показывает, что зависимость H_r при характеристиках системы:

- с учетом условий аппаратного оформления [14]:

$$H_r^c = \varphi_1^c(F_{TO}^V; G_{TO}^V; K_F; \mathcal{E}_F) \rightarrow \min,$$

где частный критерий удельной площади $F_{TO}^V = G_{TO}^c / V_{TO}^c \rightarrow \min$, при удельных значениях G_{TO}^c - веса конденсатора, кг, и удельных значениях V_{TO}^c - объема конденсатора, м³;

$$H_r^c = \varphi_1^c(F_{TO}^V; G_{TO}^V; K_Q; \mathcal{E}_Q) \rightarrow \min;$$

$K_F = K/F \rightarrow \min$ - частный критерий удельных капитальных вложений [15], грн/м²;

$\mathcal{E}_F = 3/F \rightarrow \min$ - частный критерий удельных приведенных затрат [15], грн/м².

- с учетом технологической схемы противотока и условий загрузки конденсатора [12]

$$C_s^c = 1,27.$$

Обобщающие результаты оптимизации выполняются с помощью метода позиномального программирования. В уравнение () вводится корректирующий коэффициент:

$$n_{z_j} = \prod_{i=1}^{i=n} n_{z_j} x_j, \quad (11)$$

$$Q_k = \frac{W_{\min}^6}{W_{\min}^a} Z(r^*; s^*; \tau_c) = 1,27 \cdot 0,02^{1,07} \cdot 521^{1,27} \cdot 204^{1,14} \frac{G_6 c_6 \eta_{\text{экс}}^6}{G_a c_a \eta_{\text{экс}}^a} \cdot \frac{r^* s^*}{\tau_c}. \quad (12)$$

Для обслуживания низкотемпературного диапазона динамических систем трансформации энергии, реализующих эффект Джоуля-Томпсона двухступенчатыми и каскадными установками, компрессорно-конденсаторный агрегат является основной разновидностью серийно выпускаемого оборудования, обеспечивающий построение типоразмерного ряда при большом разнообразии испарительных систем. Аппаратные агрегаты динамических систем трансформации энергии для конденсации хладона R717 выполнены в виде конденсаторно-испарительных агрегатов, которые в комплексе с регулирующей станцией, вспомогательной аппаратурой и необходимыми приборами информационно-измерительной-регулирующей системой замыкают в своем составе основные коммуникации жидкого хладона R717. В существующих системах, использующих R717, из-за отсутствия данных исследований не применяются системы регенеративных теплообменников, а для предотвращения влажного хода компрессоров включают отделители жидкости. Для конденсации в динамических системах трансформации энергии используются по роду охлаждения агрегаты с воздушным и водяным охлаждением. Применение теплообменников кожухотрубного типа (ТО) обеспечивает возврат масла из теплообменника в компрессор непосредственно из нижней части ТО или захватом масла, отсасываемым паром хладона R717, с последующим его отделением во всасывающей полости компрессора. Применение конденсаторов с внутренним и внешним оребрением улучшает процесс отделения масла в аппарате.

По результатам исследований была разработан и внедрен на АОТ «Янтарь» (г.Одесса) конденсатор секционного типа с внутренним оребрением с площадью

действительной наружной поверхности 63 м^2 двухуровневой динамической системы трансформации энергии.

Приведенные данные исследований позволяют разрабатывать аппаратное оформление – трубчато-ребристые конденсаторы для динамических систем трансформации энергии с внутренним оребрением.

Список литературы

1. Левенталь Г.Б., Попырин А.И. Оптимизация теплоэнергетических установок // М.: Энергия, 1990. – 352 с.
2. Разработка комплекса расчетов на ЭЦВМ холодильного оборудования с целью автоматизации поверочных расчетов и оптимального проектирования. - И.М. Калнинь, А.А. Лебедев, А.Н. Марьямов Темат. сб. трудов «Исследование, конструирование и расчет холодильных и компрессорных машин», М.: ВНИИХолодмаш, 1979. – С.95-100.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа, 1967.
4. Блинов Н.Н., Сутырина Т.М., Прохорова Т.В. Влияние рядности на теплоотдачу и аэродинамическое сопротивление аппаратов с гофрированным просечным оребрением. - В кн.: Совершенствование холодильных и компрессорных машин в процессе исследования и проектирования, М.: 1981. – С.28-36.
5. Дубровский Е.Ф., Федотова А.И. Исследование пластинчато-ребристых теплообменных поверхностей / Холодильная техника, 1971, № 12. – С.31-33.
6. Иоффе Д.М. Аэродинамическое сопротивление трубчатых теплообменников с пластинчатыми ребрами / Холодильная техника, 1973, № 2. – С.21-23.
7. Фикина А.Г., Фикина И.К. Теплообмен и продолжительность процесса охлаждения пищевых продуктов. - Авиационная техника, 1972, № 2. – С.15-18.
8. Теплофизические основы получения искусственного холода.: Справочник. Под ред. А.В.Быкова. – М.: Пищевая промышленность, 1981. – 231 с.
9. Кирницький С.Р. Розробка та дослідження енергозберігаючого процесу сушіння насіння кукурудзи в установці протитісного типу / Автореферат дисерт. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук по спец. 05.05.11 “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва”, Глеваха, 2003. – 19 с.
10. Перельштейн И.И., Парушин Е.Б. Методы расчета теплофизических свойств веществ по ограниченному объему опытных данных / Холодильная техника, 1978, № 3. – С.21-25.
11. Котов Б. И., Кирницький С. Р., Навоев С.О., Гриб С.М. Оптимізація загальних характеристик сушарки для зерна і насіння кукурудзи методом імітаційного моделювання / Вібрації у техніці і технології, 2003, № 1. - С.24-32.
12. Выхрест А.Х. Инженерная методика расчета кожухотрубного конденсатора динамических систем трансформации энергии. - Сборник научных работ Первомайского НИЦ РЕС, 2004.- С.41-52.
13. Кирницький С.Р. Визначення теплової ефективності протитісної сушарки для качанів кукурудзи. - “Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини”, СІЕТ 6-9, Збірник наукових праць, вип. № 6, К.: Фада, 2000. - С. 704-707.
14. Оптимизация теплообменного оборудования пищевых производств. - Под ред. Г.Е. Каневца, И.И. Саганя.- К.:Техніка, 1981. – 192 с.
15. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. - Справочное пособие. Под ре. Л.Д. Богуславского и В.И. Левчака. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.

Приведені дані досліджень дозволяють розробляти апаратне оформлення трубчато-ребристі для динамічних систем трансформації енергії з внутрішнім ребрами.

Brought study data allow to develop hardware registration tubular-rib for dynamic systems of the transformations to energy with internal the rib.

Получено 07.11.06